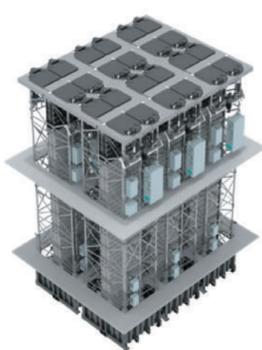


模块化导弹：让精确打击更灵活

■王奕阳 王 政



上图：韩国KVLS-2舰载垂直发射系统。左图：直升机发射“狼群”导弹。

2025年7月，美国L3哈里技术公司公布“狼群”导弹系统。该系统采用模块化架构，能够搭载不同战斗部、制导设备和电子战模块，兼具精确打击、目标跟踪、电子对抗等功能。模块化导弹的设计思路类似“搭积木”：将制导设备、战斗部等关键部件设计成标准模块，通过统一接口实现快速组合与拆装。例如，换装反舰战斗部即成为反舰导弹，换装对地弹头即为对地攻击武器。这项技术已成为多国发展远程精确打击能力的重要依托。

模块化设计优势明显

模块化设计是应对战场复杂需求、技术快速更迭及成本控制压力的重要手段，通过将导弹分解为可互换的标准化模块，提升导弹系统的整体作战效能。

相比一体化设计的导弹，模块化导弹通过批量生产和组件复用，大幅降低了生产成本与维护难度。其单价仅有一体化设计导弹的若干分之一，有助于实现“低成本、高密度”火力打击，从而更好地应对大规模消耗战。

模块化设计赋予导弹作战灵活性与任务适应性。指挥员可以根据战场需求，快速换装不同战斗部或战斗部，使同一型号导弹承担反舰、对地攻击、防空等不同任务；也可以通过配置侦察、干扰等不同模块，实现“一弹多能”，大幅增强作战规划弹性。

模块化设计还加速了技术迭代与升级。传统导弹升级往往需要重新设计整弹，周期长、成本高。模块化导弹只需更换特定模块，即可集成新技术，明显缩短了升级周期，使先进制导算法、抗干扰芯片等得以快速应用。

最后，模块化设计更适配多样化平台。一些火箭弹已从仅由直升机发射，扩展到可由固定翼飞机、无人机、舰艇等多平台搭载发射。模块化设计还为蜂群作战奠定基础。欧洲导弹集团的“执法者”导弹已演示了多弹自主组网、协同探测与智能分配目标能力。

相关技术持续发展

基于上述优势，当前多国推出先进模块化导弹项目，推动这一技术快速发展。

在发射端，新一代舰载垂直发射系统等发射平台朝着“一坑多弹”方向发展，可以灵活配置防空、反舰、反导等不同类型导弹。发射平台从单一类型导弹发射器转变为综合武器发射平台，提升火力响应与整体作战效能。

在操作与部署方面，模块化设计与集装箱发射概念结合，催生出集装箱导弹这一事物。它可快速部署在陆地或民用船上，将后勤资产转化为隐蔽火力点，大幅增强了体系生存能力和打击突发性。

在战场参与的最末端，模块化为导

弹智能协同提供了基础。在蜂群作战时，携带不同功能模块的巡飞弹，可根据任务需求灵活配置，实现弹间实时数据共享，支持编队动态调整与任务分配。例如，俄罗斯“柳叶刀-3”巡飞弹通过“AI识别+组网技术”实施协同打击，弹群能自主分配目标，进行电子干扰或发动集中攻击，导弹从单一武器升级为智能化作战节点。

此外，导弹模块化程度不断加深。欧洲导弹集团在通用防空模块化导弹项目中，尤其强调“即插即用”与灵活组合功能。美国“铜斑蛇”项目也将导引头、战斗部、控制系统进一步分解为更小的标准模块，支持在战场上根据任务快速组装出反装甲、侦察或电子战导弹。这种设计理念下的导弹更像一套定制版“乐高”工具，极大地增强了战场后勤保障和战术运用的灵活性。

使用中的技术风险

上述技术发展建立在模块化设计基础上，而模块化设计依赖于一套开放式系统架构与标准化接口协议。

模块化导弹不仅要求内部各模块

能够“即插即用”，还要求导弹与发射平台、指挥系统之间“无缝集成”，这些都离不开一套被广泛遵循的软硬件技术标准。这套软硬件技术标准在提供系统兼容性和灵活性的同时，也引入了新的风险。

在信息化战场上，协同作战网络及其数据链往往是敌方重点攻击的目标。模块化导弹通过牺牲部分专用性能换取高度通用性，故而极易遭到干扰甚至入侵。攻击者可能向数据链注入虚假信息，误导导弹群，这就需要强大的数据加密与鉴别技术来保障安全性。

分析认为，模块化设计与“即插即用”理念，显著提升了武器系统的灵活性、可扩展性与经济性，依托开放架构和标准接口，导弹能快速适应多任务需求，降低维护升级成本，并支持持续技术升级。然而，这种开放架构与标准接口如同战场“神经”，一旦遭受干扰或入侵，将导致信息阻塞、指令被篡改乃至协同失效。因此，未来模块化导弹的发展，必须持续强化抗干扰通信、动态加密算法与分布式组网能力，才能真正将其作战效能转化为可靠的战场优势。

谈兵论道

据日本媒体报道，日本防卫省日前公布，由川崎重工向日本防卫省提供的潜艇发动机检验数据涉嫌造假，暂停该公司参与竞标资格。随后日本川崎重工发布报告承认，1988年至2021年，该公司向日本防卫省交付的60多台潜艇发动机存在数据造假情况。

据介绍，为了让发动机测试数据符合要求，川崎重工在数十年间系统性修改交付日本海上自卫队的潜艇用柴油发动机性能数据，通过篡改燃油消耗量和输出功率等关键指标数据，使产品看上去符合日本防卫省采购标准。虽然日本防卫省称这起“长期性、系统性造假”未对海上自卫队潜艇部队的装备安全与作战能力造成不良影响，但瑞士的一份独立检测报告显示，涉及造假的发动机实际续航大幅缩减，同时潜艇静音性能也可能受到影响。这也意味着日本海上自卫队潜艇部队的实际作战效能与其官方宣传存在差距。

值得注意的是，川崎重工的造假丑闻只是日本军工造假的冰山一角。自2017年以来，日本多家军工企业接连曝出造假丑闻。以造船业为例，除川崎重工外，日立造船、IHI原动机等企业相继曝出数据造假，涉嫌造假发动机达数千台。这不仅是几家涉事企业的信誉破产，还折射出日本军工行业面临的深层困境。

日本军工一向有借民用技术发展军事装备的传统，但随着近年来日本传统制造业衰落，技术“空心化”严重，民用技术为军工业“输血”的功能逐渐减弱，军工业发展后劲不足。在其内部，封闭的供应链助长了“一家独大”与“技术依赖”，川崎重工垄断潜艇柴油发动机制造长达20余年就是例证。这种缺乏竞争与监督的垄断环境，为长期造假提供了温床。加上日本在关键防务技术上受制于美国，这些使得日本政府提出的“技术自主”目标难以落实。

军工业造假的背后，是日本政府监管制度的失灵。丑闻曝光后，川崎重工仅被处以两个半月投标禁令。这种近乎纵容的惩戒，无异于向所有承包商释放出“造假成本极低”的信号。当前，日本政府正大力推动建立更紧密的“官产学”协同机制，加强科研机构与军工企业的研发合作。然而，在现有缺乏透明和制衡的监管体系下，这

日本军工再曝造假丑闻

■王梓龙 石正伟

种合作不但难以激发创新，还可能让科研机构沦为军工企业的附庸。

近年来，日本大幅调整安保政策，逐年提升防卫预算，不断放宽武器出口限制，以军工出口作为经济增长点。如今看来，这些似乎都建立在一个逐渐萎缩和“空心化”的产业基础上。日本政界不断炒作的“强化防卫力量”，听起来更像是一套宣传话术。川崎重工的造假丑闻，不仅给日本武器出口浇下一盆冷水，使潜在的国际采购方在评估日本装备时更为谨慎，还将冲击日本借武器出口振兴经济的战略构想。



塌鼻子“疣猪”

■张诗宏 吕 洋

凝视上图这架A-10“雷电II”攻击机(绰号“疣猪”)的机头特写，映入眼帘的除了标志性的鲨鱼嘴涂装外，还有机鼻上一片凹凸不平的撞痕。向来以暴虐出名的“疣猪”，被谁惹成这副模样？

在美军战机中，没有哪款战机敢轻易挑战暴虐的“疣猪”，除了空中加油机。空中加油时，“疣猪”常常被加油管碰撞“鼻青脸肿”。何至如此？这要从硬管加油技术说起。

空中加油技术自20世纪50年代诞生以来，从根本上提升了空中力量的持续作战能力并扩大了战略投送范围。这项技术主要分为软管加油与硬管加油两大体系，前者以英国“伙伴加油”系统和俄罗斯的软管锥套式加油为代表，依靠加油机释放的柔性软管与受油机的探杆完成对接，优点是架加油机可同时对多架战机加油，适配性强，可广泛用于直

升机、舰载机加油；后者主要是美国空军使用的加油技术，在加油效率与稳定性上超过前者，但操作起来略显“粗暴”。

硬管加油技术的核心部件是一根从加油机尾部伸出的铝合金材质的伸缩式加油管，它由操作员在舱内通过操纵杆控制，精准对接受油机的受油口。硬管加油速度是软管加油速度的两倍多，可大幅缩短加油用时，降低战机的暴露风险。

硬管加油对受油机的配合精度要求较高。例如，受油机需保持与加油机相对一致的飞行状态，飞行员要精准控制战机的高度、速度和航向，将机鼻上方的受油口对准加油机伸出的硬管。然而，在实际操作中情况不完全如此。以“疣猪”为例，该机的受油口位于机鼻上方，空中对接过程中，加油管常常在“疣猪”的脸上蹭来蹭去，直至蹭进受油口。“疣

猪”作为一款主打低空作战的攻击机，机鼻上包有厚厚的蒙皮，虽然足够皮实，但也常常被蹭得“鼻青脸肿”。

美国空军坚持采用硬管加油技术，与其作战体系的需求密切相关。美军的大型加油机如KC-135、KC-46均采用硬管加油技术，不仅为“疣猪”这类战术飞机服务，还能为B-52轰炸机、C-17运输机等战略空中力量加油。硬管加油的刚性结构使其在高空强气流中能够保持对接的可靠性，这一点对于跨洲际飞行任务至关重要，也是美国空军坚持使用硬管加油的主要原因。不过这样一来，“疣猪”被惹鼻子恐怕就难免了。

图文兵戈

新型伪装服可防光学与红外探测

据外媒报道，俄罗斯一家公司研制出一种新型伪装服，可使士兵在长时间行进中规避光学侦察系统与红外热成像系统的探测。

在近期的武装冲突中，无人机普遍搭载光学侦察与红外热成像系统，对徒步士兵构成严重威胁。普通迷彩服在面对这类侦察手段时伪装效果有限，难以保障士兵安全。为提高士兵的战场隐蔽性与生存能力，俄罗斯这家公司从有效降低光学与红外信号特征入手，研制新一代伪装服。

该伪装服主要突破以下几项关键技术。一是采用连续热对流技术，通过主动通风系统与透气基底，实现穿戴者体温与周围环境温度的动态适应，有效降低红外辐射，减小热成像设备发现的风险；二是采用3D视觉伪装设计，服装外层使用条纹与模拟草地的立体图案，使士兵在移动时能与周边地形自然融合，干扰敌方光学侦



左图：穿着新型伪装服的士兵(圈内)红外光条件下的伪装效果。右图：自然光条件下的伪装效果。

察；三是使用阻燃与全天候材料，确保服装在高温、火源及恶劣天气等多种复杂环境下性能稳定，兼顾防护效果与使用安全。

该伪装服已在多种地形(如森林、

草原、沙漠)和气候条件下进行严格测试，模拟了包括视觉侦察与热成像无人机探测在内的实战场景。测试结果表明，穿戴者在长时间行进中能有效避免被探测，满足实战要求。

液态金属复合油墨可规避雷达探测



液态金属复合油墨可帮助战机规避雷达等探测。

据外媒报道，韩国某研究团队开发出一种液态金属复合油墨，可用于制造能够规避雷达探测的“隐身斗篷”。此项技术突破有望为机器人和无人机带来新的应用前景，并为研制可躲避雷达或其他传感器探测的隐身装备铺平道路。

雷达通过发射无线电波并接收反射波来定位目标，因此要实现雷达隐身，关键在于防止这些反射波返回雷达接收装置。早期开发雷达隐身材料的尝试面临种种技术难题，传统液态金属暴露在空气中会迅速氧化，导致性能下

降，快速形成的氧化层会破坏液态金属颗粒间的连接，加速腐蚀。该团队开发的液态金属复合油墨允许液态金属颗粒在干燥过程中自发连接，形成稳定的网状结构。研究团队长达一年的实验显示，其性能在较长的时间内能保持高度稳定，且无腐蚀迹象；质地柔软且有弹性，如橡胶，即使被拉伸至原长度的12倍，仍能保持导电性能不变。

这种液态金属复合油墨的制备工艺较简便，油墨可以用专用打印机打印，也可以用刷子涂刷，在自然条件下晾干。

未来，液态金属复合油墨将在各类需要雷达隐身技术的武器系统中得到应用。

(禹化龙)

前沿技术